

PEMANFAATAN SILIKA MESOPORI MCM-48 TERMODIFIKASI DENGAN 3-AMINOPROPILTRIMETOKSISILAN SEBAGAI ADSORBEN ION Zn^{2+}

Erwin Wiyanto^a, Paulina Taba^b, Yusafir Hala^b

^aLaboratorium Kimia Fisika, Jurusan Kimia, Fakultas MIPA, Universitas Hasanuddin

^bJurusan Kimia, Fakultas MIPA, Universitas Hasanuddin, Jl. Perintis Kemerdekaan Km 10
Tamanlana, Makassar, Indonesia 90245

ABSTRAK

MCM-48 termodifikasi gugus amino (NH_2 -MCM-48) telah disintesis dengan 3-aminopropiltrimetoksilana (3-APTMS) dan dikarakterisasi dengan difraksi sinar-X (XRD) dan spektrofotometer FTIR. Adsorpsi Zn^{2+} oleh NH_2 -MCM-48 diselidiki dan pengaruh waktu kontak, pH serta konsentrasi Zn^{2+} dipelajari. Isotermal Langmuir dan Freundlich digunakan untuk mempelajari isotermal adsorpsi Zn^{2+} oleh NH_2 -MCM-48. Hasil penelitian menunjukkan bahwa proses adsorpsi Zn^{2+} oleh NH_2 -MCM-48 sesuai dengan isotermal Langmuir dan Freundlich. Berdasarkan isotermal Langmuir dan Freundlich, kapasitas adsorpsi Zn^{2+} oleh NH_2 -MCM-48 masing-masing sebesar 0,5463 mmol·g⁻¹ dan 0,0870 mmol·g⁻¹.

Kata kunci: 3-APTMS, adsorpsi, MCM-48, NH_2 -MCM-48, Zn^{2+}

ABSTRACT

MCM-48 modified amino functional group was synthesized with 3-aminopropyltrimethoxysilane (3-APTMS) and was characterized by X-ray diffraction (XRD) and FTIR spectrophotometer. Adsorption of Zn^{2+} by NH_2 -MCM-48 were investigated and the effect of contact time, pH and Zn^{2+} concentration was studied. Langmuir and Freundlich isotherm were used to study the adsorption isotherm of Zn^{2+} by NH_2 -MCM-48. The research result showed that adsorption process of Zn^{2+} by NH_2 -MCM-48 in accordance with Langmuir and Freundlich isotherm. According to the Langmuir and Freundlich isotherm, adsorption capacities of Zn^{2+} by NH_2 -MCM-48 were 0.5463 mmol·g⁻¹ and 0.0870 mmol·g⁻¹, respectively.

Keywords: 3-APTMS, adsorption, MCM-48, NH_2 -MCM-48, Zn^{2+}

PENDAHULUAN

Perkembangan industri merupakan salah satu sektor perekonomian yang sangat dominan di zaman sekarang. Namun industri memiliki dampak negatif, seperti meningkatnya pencemaran melalui limbah yang dihasilkan dalam prosesnya. Salah satu limbah yang dihasilkan yaitu limbah logam berat, yang tidak dapat didegradasi maupun dihancurkan oleh lingkungan. Banyak industri terutama elektroplating, baterai, dan pembuatan plastik, yang membuang ion logam berat seperti seng ke dalam air limbah (Hasan dkk., 2007). Seng merupakan logam berat yang berbahaya dan dapat menimbulkan gejala berupa sakit lambung, diare, mual dan muntah bagi manusia serta efek toksik terhadap lingkungan (Widowati dkk., 2008).

Salah satu metode sederhana dan relatif murah yang digunakan untuk mengurangi pencemaran logam berat dalam limbah adalah adsorpsi. Proses adsorpsi sangat ditentukan oleh adsorben yang digunakan. Belakangan ini, material berpori telah dipelajari secara intensif dalam berbagai aplikasi sebagai katalis maupun adsorben. Berdasarkan ukuran porinya, material berpori terbagi menjadi tiga kelas, yakni material mikropori, mesopori dan makropori (Taguchi dan Sch th, 2004).

Belakangan ini, penggunaan silika mesopori sebagai adsorben untuk menghilangkan logam berat banyak diteliti (Ebrahimzadeh dkk., 2010; Han dkk., 2012; Ngatijo dkk., 2013). Salah satu silika mesopori ini adalah M41S yang terbagi menjadi tiga jenis, yaitu MCM-41 yang memiliki struktur heksagonal, MCM-48 yang memiliki struktur kubik dan MCM-50 yang memiliki struktur lamelar yang tidak stabil. MCM-48 memiliki struktur kubik dengan saluran tiga dimensi yang memungkinkan partikel masuk dengan

mudah ke dalam material karena pori-pori yang tidak terbatas pada satu arah saja, sehingga tidak akan terjadi pemblokiran oleh molekul lain (Taba, 2001). Berdasarkan hal ini, maka dapat diprediksi bahwa kapasitas adsorpsi dari MCM-48 lebih besar dibandingkan dengan MCM-41 dan MCM-50.

Pada permukaan MCM-48 terdapat gugus silanol (Si-OH) dan siloksan (Si-O-Si). Akan tetapi, gugus fungsional ini tidak cukup efektif untuk berinteraksi dengan ion logam (Sriyanti dkk., 2005), karena rendahnya kemampuan oksigen pada gugus silanol dan siloksan sebagai donor pasangan elektron, yang mengakibatkan ikatan ion logam pada permukaan silika menjadi lemah (Buhani dan Suharso, 2010). Oleh karena itu, MCM-48 perlu dimodifikasi dengan penambahan gugus aktif untuk meningkatkan efektivitas dan selektivitasnya.

Beberapa penelitian mengenai modifikasi MCM-48 dengan gugus amino telah dilakukan oleh peneliti sebelumnya. Ebrahimzadeh dkk. (2010) memodifikasi MCM-48 dengan 3-aminopropiltrietoksilasilan (3-APTES) untuk mengadsorpsi ion Au^{3+} dan Pd^{2+} dalam air limbah. Benhamou dkk. (2013) melaporkan modifikasi MCM-48 dengan gugus amino untuk mengadsorpsi ion Cr^{6+} dan As^{5+} .

Senyawa 3-APTMS sangat berpotensi dalam modifikasi MCM-48. Hal ini disebabkan senyawa 3-APTMS mempunyai gugus metoksi ($-\text{OCH}_3$) yang ukurannya jauh lebih kecil bila dibandingkan dengan gugus etoksi ($-\text{OC}_2\text{H}_5$) yang terdapat pada senyawa 3-APTES, sehingga apabila berinteraksi dengan MCM-48 maka kemungkinan masuknya 3-APTMS ke dalam pori MCM-48 jauh lebih besar. Selain itu, 3-APTMS memiliki gugus aktif berupa gugus $-\text{NH}_2$ sehingga dapat meningkatkan

efektivitas dan selektivitas dari silika mesopori MCM-48 dalam hal adsorpsi.

Berdasarkan uraian di atas, maka modifikasi MCM-48 dengan gugus amino telah dilakukan dengan menambahkan senyawa 3-APTMS. MCM-48 termodifikasi selanjutnya digunakan untuk mengadsorpsi ion Zn^{2+} . Dengan modifikasi ini, kapasitas adsorpsi ion Zn^{2+} menjadi lebih besar.

METODE PENELITIAN

Bahan

Bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah NaOH, Ludox HS40, setiltrimetilamonium bromida, Triton X-100, HCl, akuades, akuabides, $\text{Zn}(\text{NO}_3)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$, etanol, kertas saring Whatman 42, kertas pH universal, 3-APTMS, asam asetat, toluena, kloroform dan asam nitrat.

Alat

Alat-alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah peralatan gelas yang umum digunakan dalam laboratorium kimia, termometer, oven, neraca analitik (Ohaus), magnetik stirer, hotplate stirer, cawan, pompa vakum, penyaring Buchner, ayakan, pH meter, spektrofotometer serapan atom spektroskopi FTIR dan XRD.

Sintesis Silika Mesopori MCM-48

Untuk mensintesis MCM-48 digunakan metode Ryoo dkk. (1999) yang dimodifikasi oleh Taba (2008), sebagai berikut: larutan Ludox HS40 sebanyak 14,3 gram dicampur dengan 45,25 gram larutan NaOH 1M. Campuran dipanaskan sambil diaduk selama 2 jam pada suhu 80 °C. Campuran surfaktan dibuat dengan melarutkan 6,12 gram CTAB dan 1,34 gram Triton X-100 secara bersamaan dalam 83,47 gram akuades sambil dipanaskan. Setelah larutan natrium tetrasilikat dan surfaktan dingin, kedua larutan segera dicampurkan dalam botol polipropilen. Botol

langsung ditutup dan dikocok dengan kuat selama 15 menit. Campuran gel yang dihasilkan dipanaskan pada kondisi statis pada 100 °C selama 24 jam. Pada tahap ini, mesofase surfaktan-silika dibentuk. Untuk menghindari pemisahan dari mesofase pada tahap awal pemanasan, botol yang berisi campuran sekali-sekali dikocok. Campuran reaksi kemudian didinginkan pada suhu kamar dan asam asetat 30% ditambahkan ke dalam campuran untuk mengatur pH sampai 10. Setelah pH mencapai 10, campuran dipanaskan lagi pada suhu 100 °C selama 24 jam kemudian didinginkan pada suhu kamar. MCM-48 yang terbentuk disaring, dicuci dengan akuabides, dan dikeringkan dalam oven pada suhu 120 °C. Surfaktan dihilangkan dari produk berwarna putih melalui pencucian dengan campuran HCl-etanol. Satu gram MCM-48 dicuci dengan 25 mL HCl 0,1 M dalam larutan etanol 50 % sambil diaduk selama 30 menit pada suhu kamar. Pencucian diulangi sekali lagi kemudian campuran disaring, endapan dicuci dengan air suling dan dikeringkan pada suhu 100 °C. Silika mesopori MCM-48 dikarakterisasi menggunakan XRD dan FTIR.

Modifikasi Silika Mesopori MCM-48 dengan 3-APTMS

Untuk memodifikasi MCM-48 dengan 3-APTMS digunakan metode Johnson dan Stein (2001) yang dimodifikasi oleh Pirouzmmand dkk. (2008). Sebanyak 1 gram bubuk MCM-48 ditambahkan ke dalam 50 mL toluena dan campuran diaduk selama 1 jam pada suhu kamar. Larutan ini kemudian ditambahkan 1,3 gram 3-APTMS dan direfluks selama 2 jam. Produk berwarna putih disaring, kemudian dicuci dengan toluena dan kloroform, kemudian dikeringkan pada suhu kamar. Produk yang dihasilkan diberi nama

NH₂-MCM-48. Selanjutnya, NH₂-MCM-48 dikarakterisasi dengan XRD dan FTIR.

Penentuan Waktu Optimum Adsorpsi

NH₂-MCM-48 sebanyak 0,1 gram dimasukkan ke dalam erlenmeyer yang berisi 50 mL larutan Zn²⁺ 10 mg·L⁻¹. Campuran diaduk dengan magnetik stirer selama 10 menit lalu disaring. Absorbansi filtrat diukur dengan menggunakan SSA. Percobaan diulagi dengan variasi waktu pengadukan berturut-turut 20, 40, 60, 80 dan 160 menit.

Penentuan pH Optimum Adsorpsi

NH₂-MCM-48 sebanyak 0,1 gram dimasukkan ke dalam erlenmeyer yang berisi 50 mL larutan Zn²⁺ 10 mg·L⁻¹, kemudian campuran diaduk selama waktu optimum dengan variasi pH 3, 4, 5, 6, 7 dan 8. Campuran tersebut disaring menggunakan penyaring vakum dengan kertas saring Whatman 42. Absorbansi filtrat diukur dengan menggunakan SSA.

Penentuan Kapasitas Adsorpsi

NH₂-MCM-48 sebanyak 0,1 gram dimasukkan ke dalam 5 erlenmeyer berbeda yang berisi 50 mL larutan Zn²⁺ dengan variasi konsentrasi 20, 40, 80, 160 dan 320 mg·L⁻¹. Larutan kemudian diaduk selama waktu optimum. Campuran tersebut disaring menggunakan penyaring vakum dengan kertas saring Whatman 42. Absorbansi filtrat diukur dengan menggunakan SSA. Kapasitas adsorpsi dapat ditentukan menggunakan model persamaan Langmuir dan Freundlich pada persamaan (1) dan (2).

Isotermal Langmuir

$$\frac{C_e}{q_e} = \frac{1}{Q_0 b} + \frac{C_e}{Q_0} \quad (1)$$

C_e = konsentrasi kesetimbangan (mg·L⁻¹)

q_e = efektivitas adsorpsi (mg·g⁻¹)

Q₀ = kapasitas adsorpsi (mg·g⁻¹)

b = intensitas adsorpsi (L·mg⁻¹)

Isotermal Freundlich

$$\log \left(\frac{x}{m} \right) = \log k + \left(\frac{1}{n} \right) \log C_e \quad (2)$$

x = jumlah adsorbat (mg)

m = massa adsorben (g)

C_e = konsentrasi kesetimbangan (mg·L⁻¹)

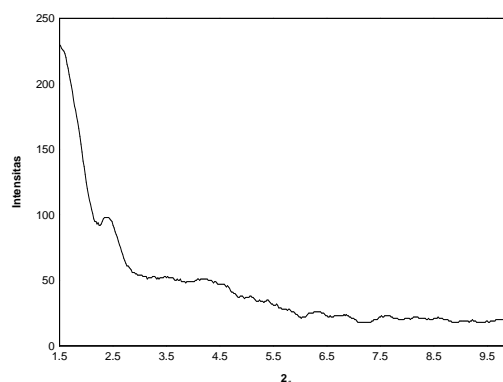
k = kapasitas adsorpsi (mg·g⁻¹)

n = intensitas adsorpsi (g·L⁻¹)

HASIL DAN PEMBAHASAN

Karakterisasi Struktur MCM-48 dan NH₂-MCM-48

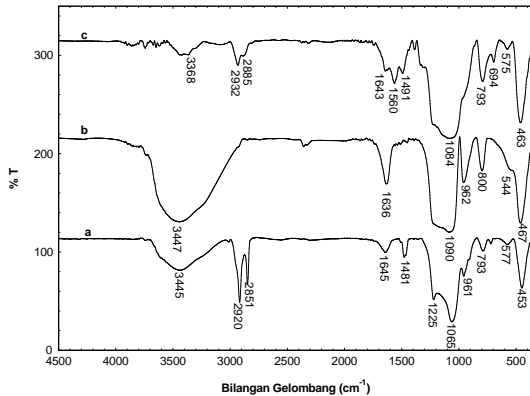
Untuk mengetahui apakah MCM-48 yang telah disintesis memiliki keteraturan pori yang sama dengan MCM-48 yang telah disintesis peneliti sebelumnya maka dilakukan analisis XRD (Gambar 1).



Gambar 1. Pola difraksi sinar-X MCM-48

Pola difraksi sinar-X MCM-48 menunjukkan adanya puncak 2 *theta* pada 2,4° dengan indeks Miller 211. Puncak ini merupakan puncak 2 *theta* yang khas untuk MCM-48 (Zhai dkk., 2004). Pola difraksi sinar-X pada Gambar 1 yang diperoleh tidak maksimal karena instrumen yang digunakan tidak memiliki fasilitas pengukuran sudut 2 *theta* yang kecil (1,5-10°) sehingga ada beberapa puncak yang tidak terlihat.

Untuk mengetahui gugus fungsi yang terdapat yang terdapat pada MCM-48 dan $\text{NH}_2\text{-MCM-48}$ maka dilakukan analisis FTIR (Gambar 2).



Gambar 2. Spektrum FTIR (a) MCM-48 sebelum pencucian, (b) MCM-48 setelah pencucian 4 kali dan (c) $\text{NH}_2\text{-MCM-48}$

Gambar 2a memperlihatkan pita serapan luas pada bilangan gelombang 3445 cm^{-1} yang mengindikasikan adanya peregangan O-H dari gugus Si-OH. Pita serapan pada bilangan gelombang 1065 cm^{-1} , 793 cm^{-1} dan 453 cm^{-1} merupakan regangan asimetris, regangan simetris dan menekuk dari vibrasi Si-O-Si. Pita serapan pada bilangan gelombang 961 cm^{-1} dan 577 cm^{-1} merupakan vibrasi ulur Si-O dari Si-OH. Regangan asimetris dan simetris dari vibrasi C-H teramati pada bilangan gelombang 2920 cm^{-1} dan 2851 cm^{-1} yang merupakan spektra dari surfaktan.

Setelah dilakukan pencucian 4 kali dengan HCl-etanol, intensitas C-H ulur dan C-H regang mulai berkurang yang menunjukkan bahwa surfaktan hilang (Gambar 2b). Pita serapan pada bilangan gelombang 1225 cm^{-1} dan 1065 cm^{-1} bergeser ke bilangan gelombang yang lebih besar menunjukkan bahwa terjadi kontraksi kisi dengan hilangnya *template* berupa surfaktan (Tabata, 2001).

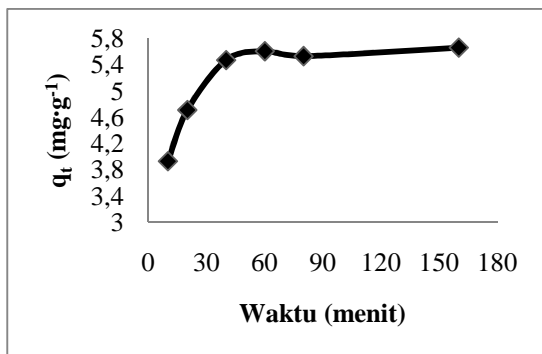
Modifikasi MCM-48 dengan 3-APTMS mengakibatkan adanya perubahan pada pita serapan inframerah (Gambar 6c), yaitu munculnya pita serapan pada bilangan gelombang 2932 cm^{-1} dan 2885 cm^{-1} yang merupakan regangan asimetris dan simetris dari vibrasi C-H dalam rantai propil. Pita serapan pada bilangan gelombang 3410 cm^{-1} dan 3368 cm^{-1} merupakan regangan asimetris dan simetris dari vibrasi N-H dalam gugus -NH_2 . Intensitas pita serapan ini terlihat kurang karena rasio vibrasi N-H dari gugus -NH_2 terhadap vibrasi Si-O dari Si-OH dan vibrasi Si-O-Si kecil dalam $\text{NH}_2\text{-MCM-48}$. Setelah dimodifikasi terbentuk serapan pada bilangan gelombang 1560 cm^{-1} dan 1389 cm^{-1} yang menunjukkan adanya vibrasi tekuk N-H (amina primer) dan vibrasi C-N. Vibrasi Si-CH₂-R muncul pada bilangan gelombang 694 cm^{-1} . Hasil ini menunjukkan adanya gugus amino dalam saluran mesopori (Sert dan Eral, 2010; Handkk., 2012).

Pengaruh Waktu Kontak dan Studi Kinetik pada Adsorpsi Zn^{2+} oleh $\text{NH}_2\text{-MCM-48}$

Laju adsorpsi Zn^{2+} merupakan salah satu faktor yang paling penting dalam proses adsorpsi. Waktu optimum adsorpsi Zn^{2+} oleh $\text{NH}_2\text{-MCM-48}$ ditentukan dengan menghitung jumlah ion Zn^{2+} yang teradsorpsi sebagai fungsi waktu (Gambar 3).

Adsorpsi Zn^{2+} oleh $\text{NH}_2\text{-MCM-48}$ mengalami peningkatan dengan bertambahnya waktu kontak. Hal ini dapat dilihat dari peningkatan jumlah ion Zn^{2+} yang teradsorpsi pada menit ke 10 sebesar $3,9232\text{ mg}\cdot\text{g}^{-1}$ menjadi $5,5976\text{ mg}\cdot\text{g}^{-1}$ pada menit ke 60. Namun setelah 60 menit, jumlah ion Zn^{2+} yang teradsorpsi tidak lagi meningkat. Hal ini disebabkan karena permukaan adsorben yang telah jenuh. Oleh karena itu, waktu kontak 60 menit digunakan

waktu kontak optimum adsorpsi Zn^{2+} oleh $\text{NH}_2\text{-MCM-48}$.

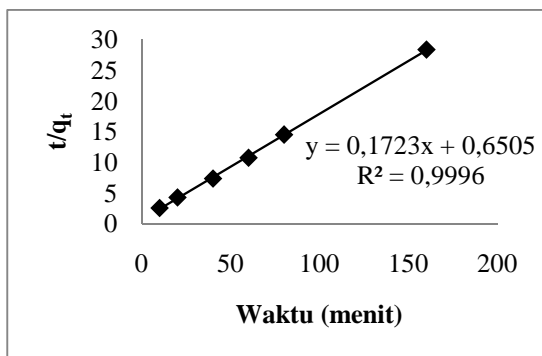


Gambar 3. Pengaruh waktu kontak terhadap adsorpsi Zn^{2+} oleh $\text{NH}_2\text{-MCM-48}$

Proses laju adsorpsi dapat memberikan informasi mengenai jalur reaksi. Adsorpsi Zn^{2+} oleh $\text{NH}_2\text{-MCM-48}$ pada waktu yang singkat dapat melibatkan adsorpsi kimia. Model laju orde dua semu telah digunakan oleh peneliti sebelumnya untuk menyesuaikan data eksperimen dalam hal adsorpsi logam oleh $\text{NH}_2\text{-MCM-48}$ (Chen dkk., 2011; Han dkk., 2012), yang dinyatakan dalam persamaan (3).

$$\frac{t}{q_t} = \frac{1}{Kq_e^2} + \frac{t}{q_e} \quad (3)$$

dimana q_e dan q_t adalah kapasitas adsorpsi Zn^{2+} pada kesetimbangan ($\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$), t adalah waktu (menit) dan K adalah konstanta laju orde dua semu ($\text{g}\cdot\text{mg}^{-1}\cdot\text{menit}^{-1}$).

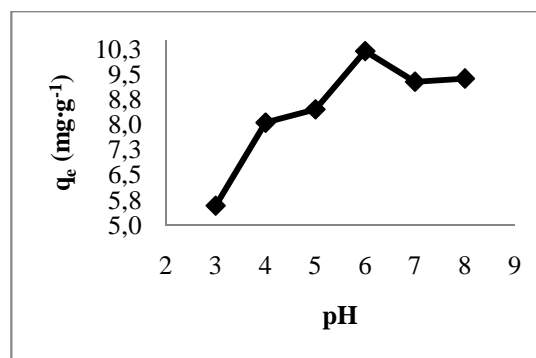


Gambar 4. Studi kinetik orde dua semu terhadap adsorpsi Zn^{2+} oleh $\text{NH}_2\text{-MCM-48}$

Kurva model laju orde dua semu hasil adsorpsi Zn^{2+} oleh $\text{NH}_2\text{-MCM-48}$ adalah linier (Gambar 4). Berdasarkan persamaan garis yang diperoleh, nilai kapasitas adsorpsi (q_e) yang diperoleh sebesar $5,8038 \text{ mg}\cdot\text{g}^{-1}$ dengan konstanta laju orde dua semu (K) sebesar $0,0456 \text{ g}\cdot\text{mg}^{-1}\cdot\text{menit}^{-1}$. Hasil ini menunjukkan bahwa adsorpsi Zn^{2+} oleh $\text{NH}_2\text{-MCM-48}$ mengikuti reaksi orde dua semu, yang menyimpulkan bahwa proses yang terjadi melibatkan adsorpsi kimia (Zhang dkk., 2010).

Pengaruh pH pada Adsorpsi Zn^{2+} oleh $\text{NH}_2\text{-MCM-48}$

Adsorpsi Zn^{2+} oleh $\text{NH}_2\text{-MCM-48}$ sangat bergantung pada pH, dan pengaruh pH pada adsorpsi Zn^{2+} ditunjukkan pada Gambar 5.



Gambar 5. Pengaruh pH pada adsorpsi Zn^{2+} oleh $\text{NH}_2\text{-MCM-48}$.

Jumlah ion Zn^{2+} yang teradsorpsi hanya sebesar $5,5713 \text{ mg}\cdot\text{g}^{-1}$ pada pH rendah sekitar 3 dan dengan peningkatan pH, jumlah ion Zn^{2+} yang teradsorpsi meningkat hingga pH 6 yaitu sebesar $10,1802 \text{ mg}\cdot\text{g}^{-1}$. Namun setelah pH 6, jumlah ion Zn^{2+} yang diadsorpsi oleh $\text{NH}_2\text{-MCM-48}$ mengalami penurunan. Pada pH rendah tingkat penyerapan ion Zn^{2+} rendah (Han dkk., 2012). Hal ini disebabkan oleh gugus amino yang terprotonasi dengan kation melalui tolakan elektrostatis.

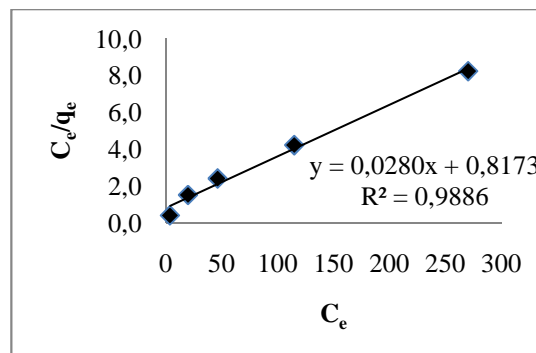
Dengan meningkatnya pH, gugus amino yang terprotonasi menurun sehingga menghasilkan tingkat penyerapan yang lebih tinggi dari ion Zn^{2+} . Pada pH tinggi, permukaan $\text{NH}_2\text{-MCM-48}$ akan bermuatan negatif yang menguntungkan dalam proses adsorpsi Zn^{2+} . Namun, kompleks hidroksil dan endapan seng hidroksida akan mudah terbentuk. Oleh karena itu, pH 6 ditetapkan sebagai pH optimum dalam adsorpsi Zn^{2+} oleh $\text{NH}_2\text{-MCM-48}$.

Kapasitas Adsorpsi Zn^{2+} oleh $\text{NH}_2\text{-MCM-48}$

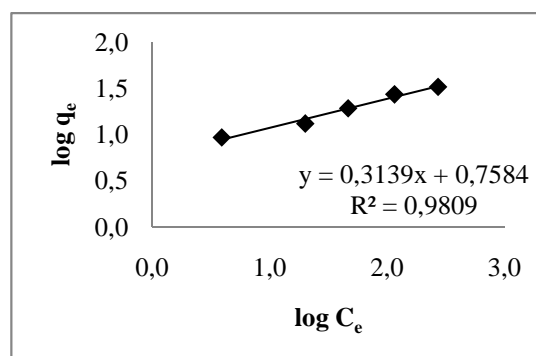
Isotermal adsorpsi menggambarkan hubungan antara massa ion logam yang teradsorpsi per satuan massa dari adsorben dengan konsentrasi ion logam pada suhu konstan. Koefisien korelasi (R^2) digunakan untuk menentukan model isotermal yang terbaik dalam proses adsorpsi. Model isotermal Langmuir dan Freundlich digunakan untuk menentukan kapasitas adsorpsi Zn^{2+} oleh $\text{NH}_2\text{-MCM-48}$ yang ditunjukkan pada Gambar 6 dan 7.

Nilai koefisien korelasi dari isotermal Langmuir yaitu sebesar 0,9886 dan isotermal Freundlich yaitu sebesar 0,9809. Nilai koefisien korelasi yang diperoleh dari isotermal Langmuir dan Freundlich tidak jauh berbeda yang menunjukkan bahwa proses adsorpsi Zn^{2+} oleh $\text{NH}_2\text{-MCM-48}$ sesuai dengan kedua model isotermal tersebut. Nilai kapasitas adsorpsi (Q_0) yang diperoleh dari isotermal Langmuir yaitu sebesar $0,5463 \text{ mmol}\cdot\text{g}^{-1}$ dengan intensitas adsorpsi (b) sebesar $0,0343 \text{ L}\cdot\text{mg}^{-1}$. Nilai kapasitas adsorpsi (k) yang diperoleh dari isotermal Freundlich yaitu sebesar $0,0870 \text{ mmol}\cdot\text{g}^{-1}$ dengan intensitas adsorpsi (n) sebesar $3,1857 \text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$. Adsorpsi Zn^{2+} oleh $\text{NH}_2\text{-MCM-48}$ terjadi melalui prinsip HSAB. Hal ini didukung oleh peneliti sebelumnya yang melaporkan bahwa adsorben hibrida

amino silika (HAS) mengandung gugus aktif $-\text{NH}_2$ dapat berinteraksi dengan kuat dengan ion-ion logam Ni^{2+} , Cu^{2+} dan Zn^{2+} (Buhani dkk., 2009).



Gambar 6. Isotermal Langmuir untuk adsorpsi Zn^{2+} oleh $\text{NH}_2\text{-MCM-48}$



Gambar 7. Isotermal Freundlich untuk adsorpsi Zn^{2+} oleh $\text{NH}_2\text{-MCM-48}$

Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa waktu kontak dan pH optimum adsorpsi Zn^{2+} oleh $\text{NH}_2\text{-MCM-48}$ berturut-turut adalah 60 menit dan pH 6. Kapasitas adsorpsi Zn^{2+} oleh $\text{NH}_2\text{-MCM-48}$ yaitu sebesar $0,5463 \text{ mmol}\cdot\text{g}^{-1}$ untuk isotermal Langmuir dan $0,0870 \text{ mmol}\cdot\text{g}^{-1}$ untuk isotermal Freundlich.

DAFTAR PUSTAKA

Benhamou A., Basly, J. P., Baudu, M., Derriche, Z., Hamacha, R., 2013, *J. Colloid Interface Sci.*, **404**, 135-139.

- Buhani, Narsito, Nuryono, Kunarti, E. S., 2009, *Indo. J. Chem.*, **9** (2), 170-176.
- Buhani, Suharso, 2010, *J. Sains MIPA*, **16** (3), 177-183.
- Chen, L., Lu, L., Shao, W., Luo, F., 2011, *J. Chem. Eng. Data*, **56**, 1059-1068.
- Ebrahimzadeh, H., Tavassoli, N., Amini, M. M., Fazaeli, Y., Abedi, H., 2010, *Talanta*, **81**, 1183-1188.
- Han, Y., Fang, K., Gu, X., Chen, J., Chen, J., 2012, *J. Chem. Eng. Data*, **57**, 2059-2066.
- Hasan, S. H., Talat, M., Ray, S., 2007, *Bioresour. Technol.*, **98**, 918-928.
- Johnson, B. J. S., Stein A., 2001, *Inorg. Chem.*, **40**, 801-808.
- Ngatijo, Nuryono, Narsito, Rusdiarso, B., 2013, *IPCBEE*, **58**, 105-109.
- Pirouzmand, M., Amini, M. M., Safari, N., 2008, *J. Colloid Interface Sci.*, **319**, 199-205.
- Ryoo, R., Joo, S. H., Jun, S., 1999, *J. Phys. Chem. B*, **103** (37), 7743-7746.
- Sert, S., Eral, M., 2010, *J. Nucl. Mater.*, **406**, 285-292.
- Sriyanti, Azmiyawati, C., Taslimah, 2005, *JSKA*, **8** (2), 1-12.
- Taba, P., 2001, *Mesoporous Solids as Adsorbent*, PhD Thesis, The University of New South Wales, Australia.
- Taba, P., 2008, *Makara Sains*, **12** (2), 120-125.
- Taguchi, A., Sch th, F., 2004, *Microporous Mesoporous Mater.*, **77**, 1-45.
- Widowati, W., Sastiono, A., Jusuf, R., 2008, *Efek Toksik Logam*, Penerbit Andi, Bandung.
- Zhai, S. R., Gong, Y. J., Zhang, Y., Deng, F., Luo, Q., Wu, D., Sun, Y. H., 2004, *J. Chin. Chem. Soc.*, **51**, 49-57.
- Zhang, Y., Li, Y., Yang, L., Ma, X., Wang, L., Ye, Z., 2010, *J. Hazard. Mater.*, **178**, 1046-1054.